



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Principi e Metodologie della Progettazione Meccanica

ing. F. Campana
a.a. 10-11

Lezione 15: Design for X - *Design for assembly*

Design for X

Con la dicitura generica Design for X si indicano le tecniche di ottimizzazione specifiche per ottimizzare una particolare proprietà esterna del progetto (“X”, appunto).

Queste tecniche si applicano durante la fase esecutiva e si scelgono in base alle priorità imposte durante la fase di specifica dello studio concettuale.

A seguire si approfondiranno i metodi che rientrano nel:

- Design for Assembly
- Design for Reliability and Maintenance
- Design for Ergonomics

Il primo passo per definire un appropriato approccio al Design orientato alla proprietà “X” consiste nel definire X ed articolare una serie di regole tecniche di corretta progettazione. Una volta integrate tali raccomandazioni si può procedere all’applicazione di metodi ad hoc finalizzati alla sua ottimizzazione.

In questo senso le raccomandazioni sulle regole di disegno del componente in base alla tecnica di fabbricazione (riportate nella lezione 14) rientrano nell’ambito del design for manufacturing.

Allo stesso modo i criteri ed i metodi di allocazione delle tolleranze sono nel contempo metodi che influenzano sia la fabbricazione che le prestazioni. La conoscenza delle interazioni tra proprietà può essere un elemento di sinergia o contrasto a seconda se ottimizzare un aspetto migliora o penalizza l’altro.

Senza dubbio *l’uso di componenti standard*, l’adozione di *progetti modulari* e la *riduzione delle operazioni di assemblaggio* rientrano tra le buone regole di design for manufacturing. Tutto ciò incide in modo rilevante sui costi del prodotto.



Introduzione ai metodi per la progettazione orientata all'assemblaggio

L'assemblabilità di un sistema è la sua capacità di montaggio intesa come l'insieme di operazioni necessarie a creare dai singoli componenti l'assieme (o sottoinsieme) in esame.

Durante la fase di progetto costruttivo si definiscono i dettagli di assemblaggio di un sistema (ad esempio la presenza di spianature o risalti di allineamento), ma è lo schema di principio che definisce le basi di assemblabilità di un sistema attraverso il lay out generale dei moduli che può influire sulle direzioni di inserimento e le modalità di ancoraggio dei componenti o dei moduli di sotto assieme.

Ottimizzare l'assemblaggio significa ridurre:

- il numero di parti da montare
- facilitare la manipolazione e l'inserimento delle parti curando la forma e la direzione di inserimento dei componenti.



Operazioni di assemblaggio:

- Afferraggio ed orientamento della parte
- Accoppiamento e collegamento
- Ispezione ed assestamento
- Riparazione se necessaria

Si entra nel merito di come si realizza il sistema

(scelta dei processi, dei materiali, delle tolleranze)

Attributi di assemblaggio:

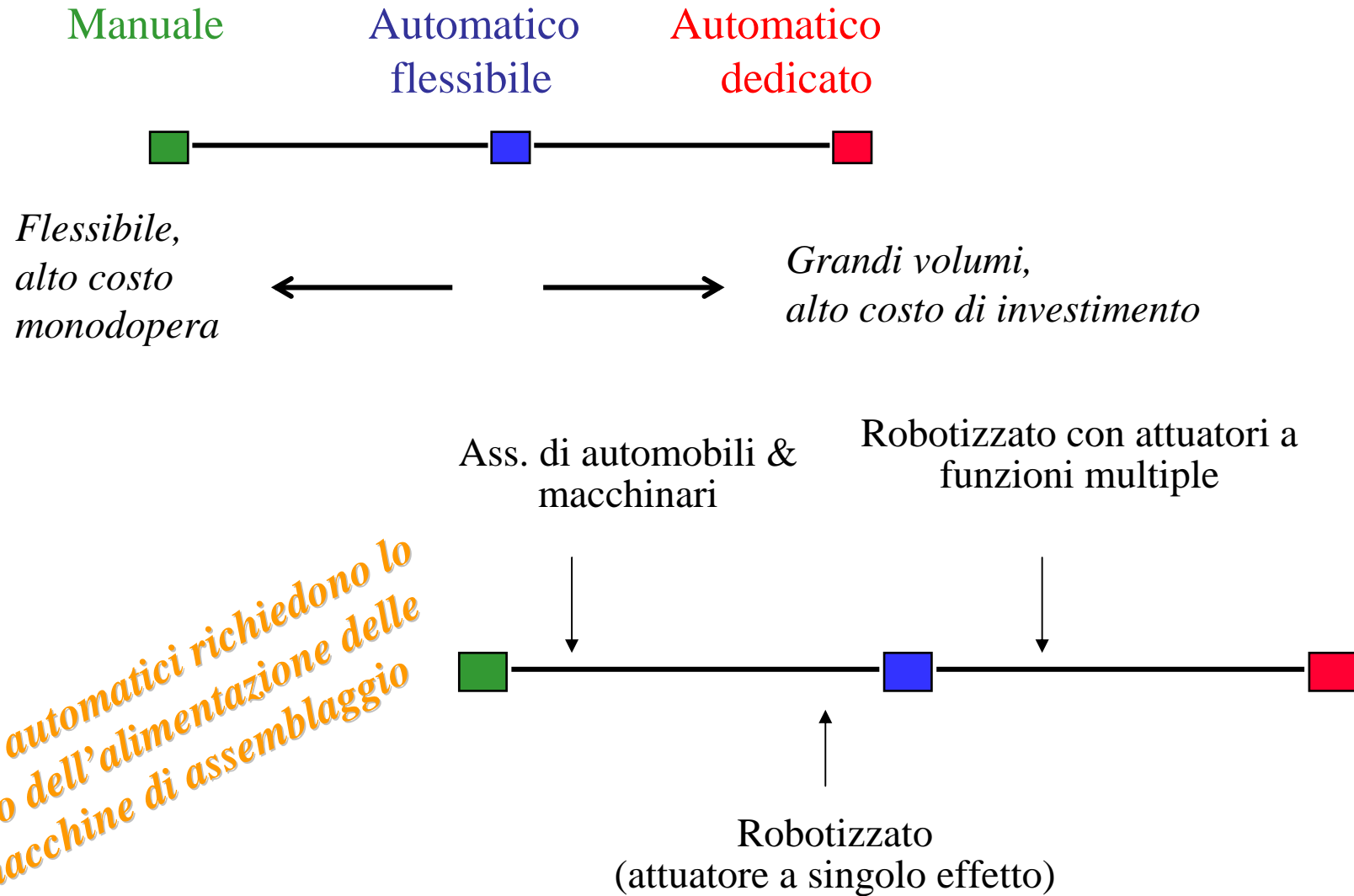
Forte legame con i costi

ma anche con la qualità finale del prodotto

- Tempo e costo per per unità da assemblare
- Costo macchina per unità da assemblare
- Tasso di produzione o qualità



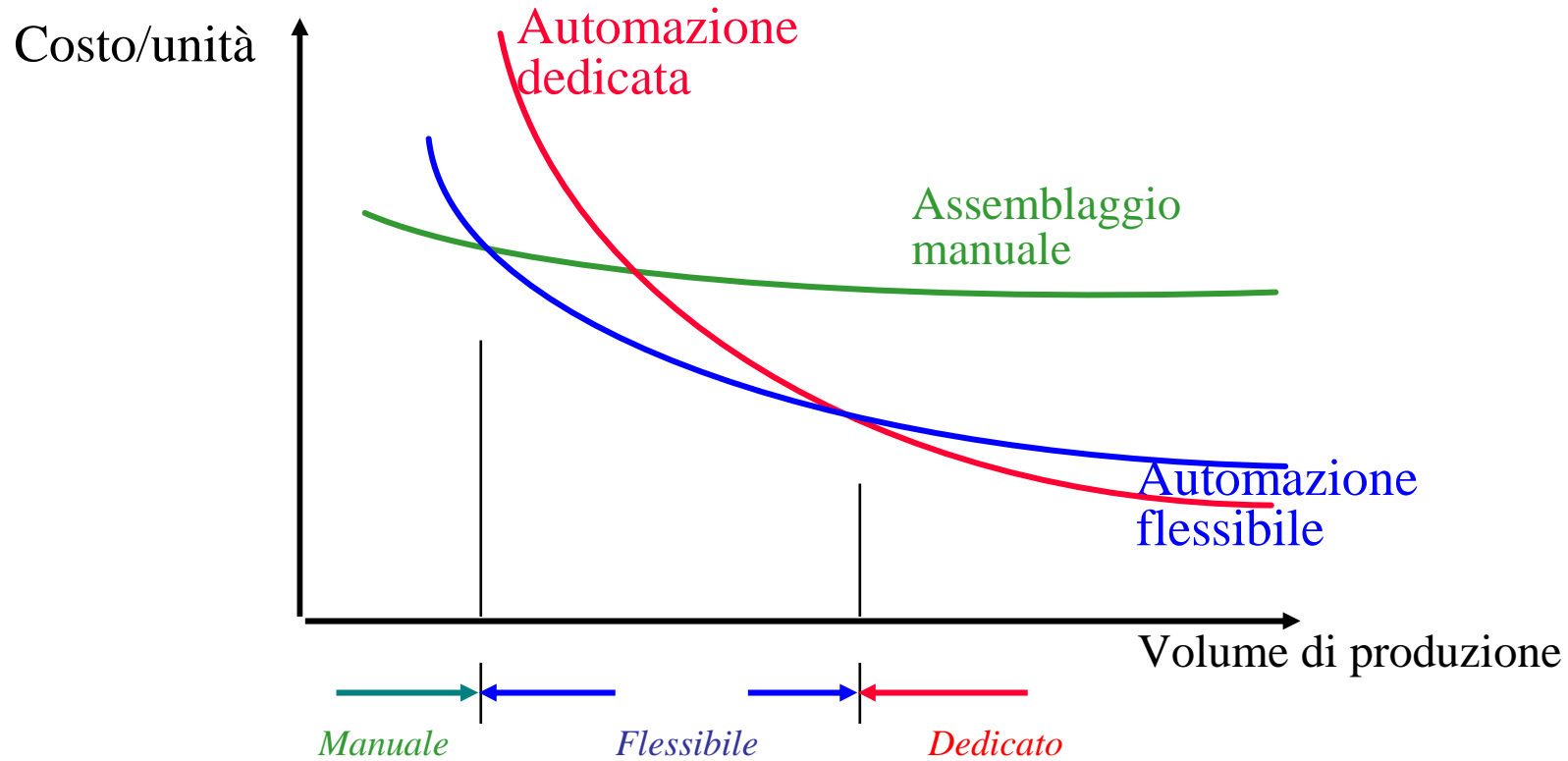
Tipologie di assemblaggio:



Sistemi automatici richiedono lo studio dell'alimentazione delle macchine di assemblaggio



Tipologie di assemblaggio e costi:





Schema di lavoro:

1. Analisi del sistema

- 1.1 Preparare una lista delle parti, dei sotto-assiemi
- 1.2 Preparare una lista degli elementi di fissaggio e delle macchine necessarie
- 1.3 Preparare una sequenza di assemblaggio

2. Analisi critica del progetto

- 2.1 Stima del tempo di assemblaggio
- 2.2 Identificazione delle parti critiche/modificabili
- 2.3 Definire l'efficienza dell'assemblato

3. Miglioramento del progetto

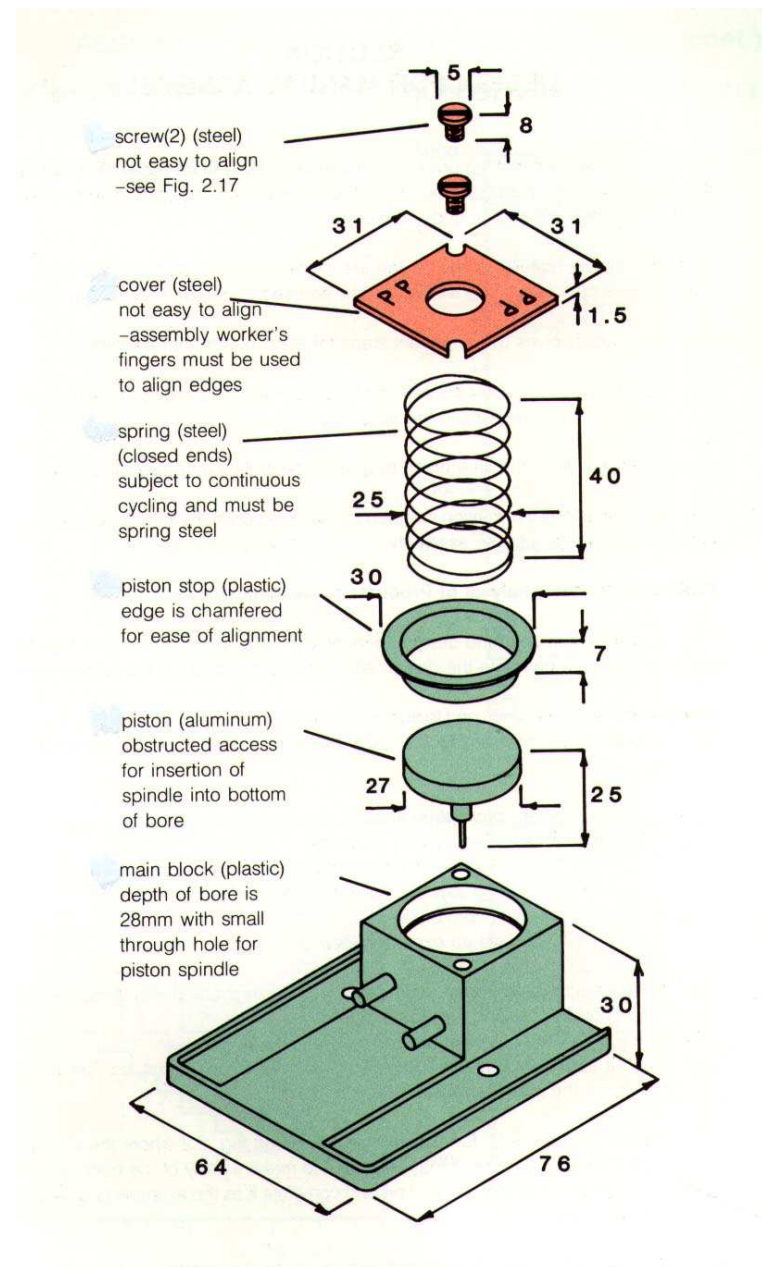
*L'assunzione di base è:
immaginiamo un assemblaggio di
tipo manuale*



1. Analisi del sistema

Sequenza di assemblaggio:

1. Posiziona il corpo centrale sull'attrezzaggio
2. Inserisci il pistone
3. Posiziona lo stop del pistone
4. Deposita la molla
5. Posiziona il coperchio ed allinealo affinché si possano inserire le viti
6. Posiziona e serra le viti.





- **Lista delle parti:**

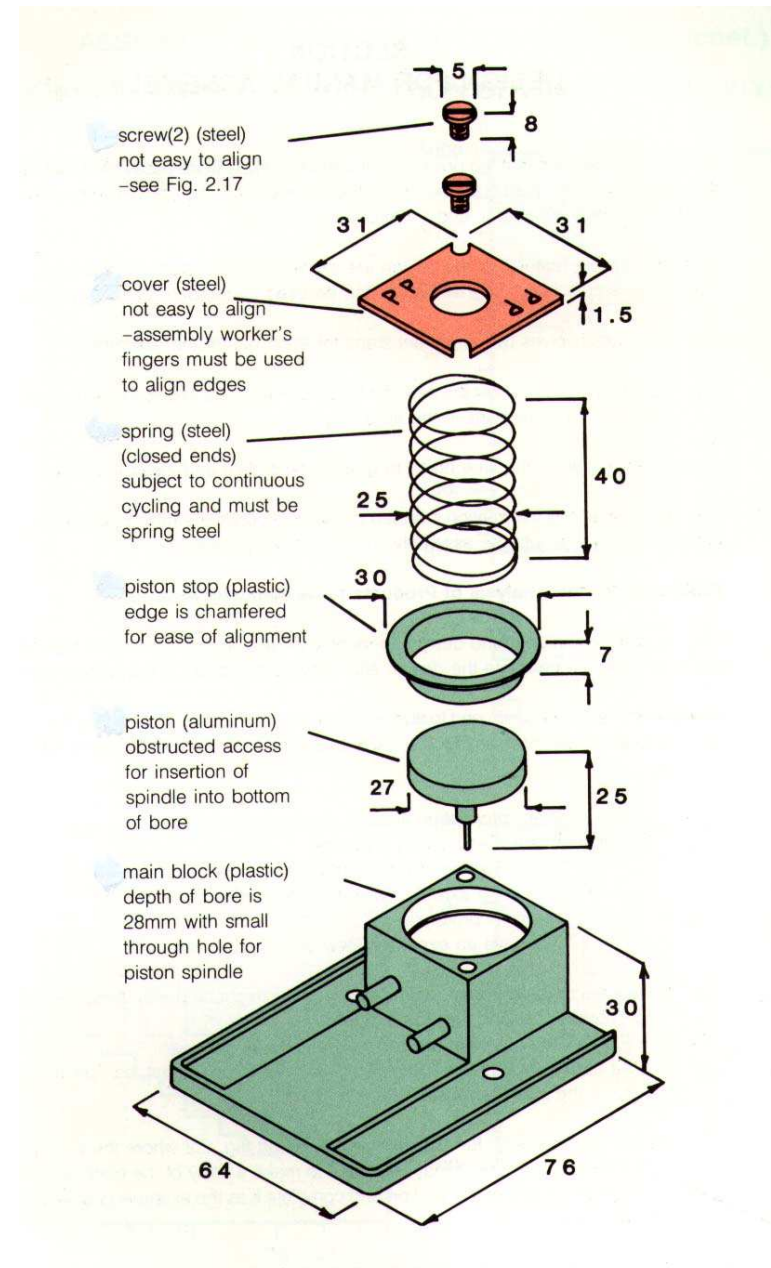
1. Un corpo centrale
2. Un pistone
3. Uno stop per pistone
4. Una molla
5. Un coperchio
6. Due viti

- **Lista degli utensili:**

1. Un cacciavite piatto

- **Lista dei bloccaggi:**

1. Un afferraggio per il corpo centrale





Nota Bene:

- La lista può essere lunga e complessa con molti sottoassemblati
- E' importante dettagliare bene la sequenza (direzione del moto, fissaggi, lavorazioni preliminari, ...) altrimenti la valutazione della complessità di assemblaggio può diventare soggettiva



2. Analisi critica del progetto

- La stima del tempo di assemblaggio si fa con metodi appositi quali ad es. l'Hitachi o il Boothroyd - Dewhurst.
- L'identificazione degli elementi su cui lavorare richiede l'identificazione del numero minimo di parti strettamente necessarie (sistema ideale, Metodo Lucas).
- La valutazione dell'efficienza consiste nel confronto tra il tempo di assemblaggio del sistema corrente e quella del sistema ideale.



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Metodo Boothroyd - Dewhurst

Ipotesi di partenza:

- le parti sono in un contenitore orientate a caso,
- il montaggio è manuale, inserendo un elemento per volta,
- la sequenza è ottimizzata sulla base di un solo operatore per assemblaggio.

Fasi:

- Stima del tempo di assemblaggio
- Analisi delle parti riducibili
- Studio dell'efficienza



Stima del tempo di assemblaggio

- Il tempo di assemblaggio di una parte è definito dal *tempo di manipolazione della parte* + *tempo di inserimento*
- Il tempo di assemblaggio totale è dato dalla somma dei tempi di assemblaggio delle singole parti.

Il *tempo di manipolazione della parte* è definito dal tempo di prelievo ed orientamento del pezzo in modo che sia pronto per l'inserimento. Varia da 1.13 a 10 s in funzione della simmetria del pezzo, del suo spessore e peso.



Stima del tempo di assemblaggio

- Primary (α -) symmetry: simmetria di rotazione rispetto ad un asse ortogonale alla direzione di inserimento.

$$\alpha = 180^\circ$$

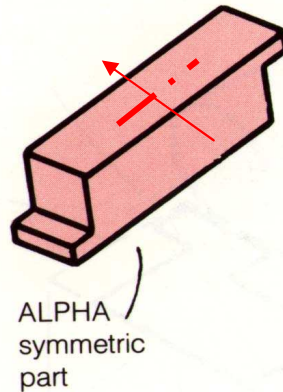
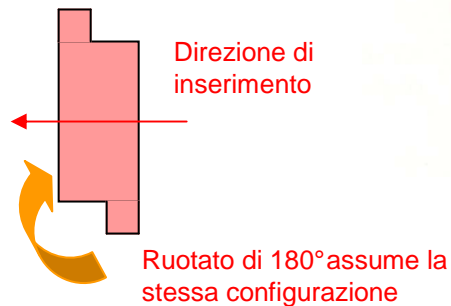
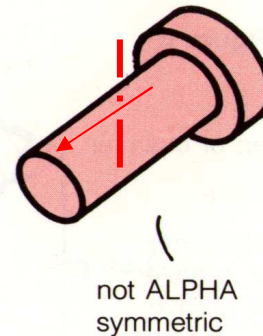


Figure b



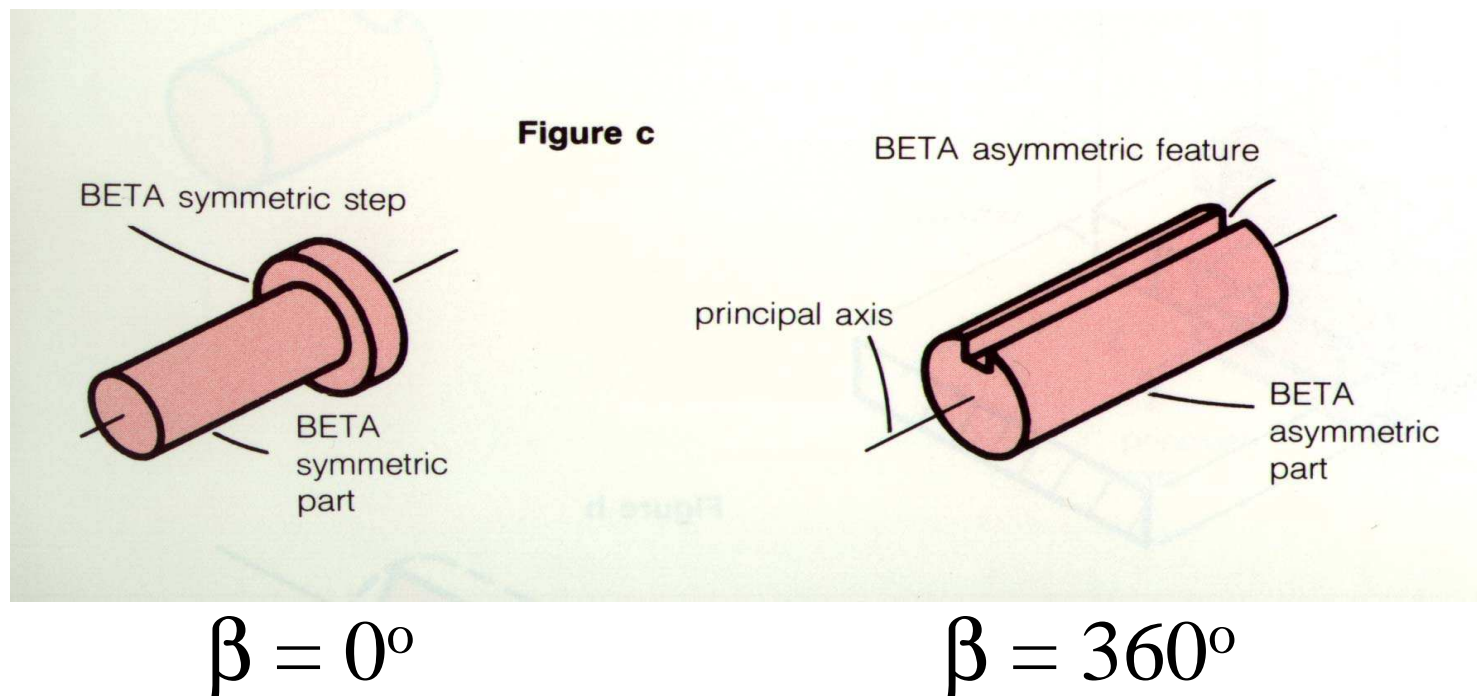
$$\alpha = 360^\circ$$

Ruotato di 360° assume la stessa configurazione



Stima del tempo di assemblaggio

- Secondary (β -) symmetry: simmetria rispetto alla direzione di inserimento

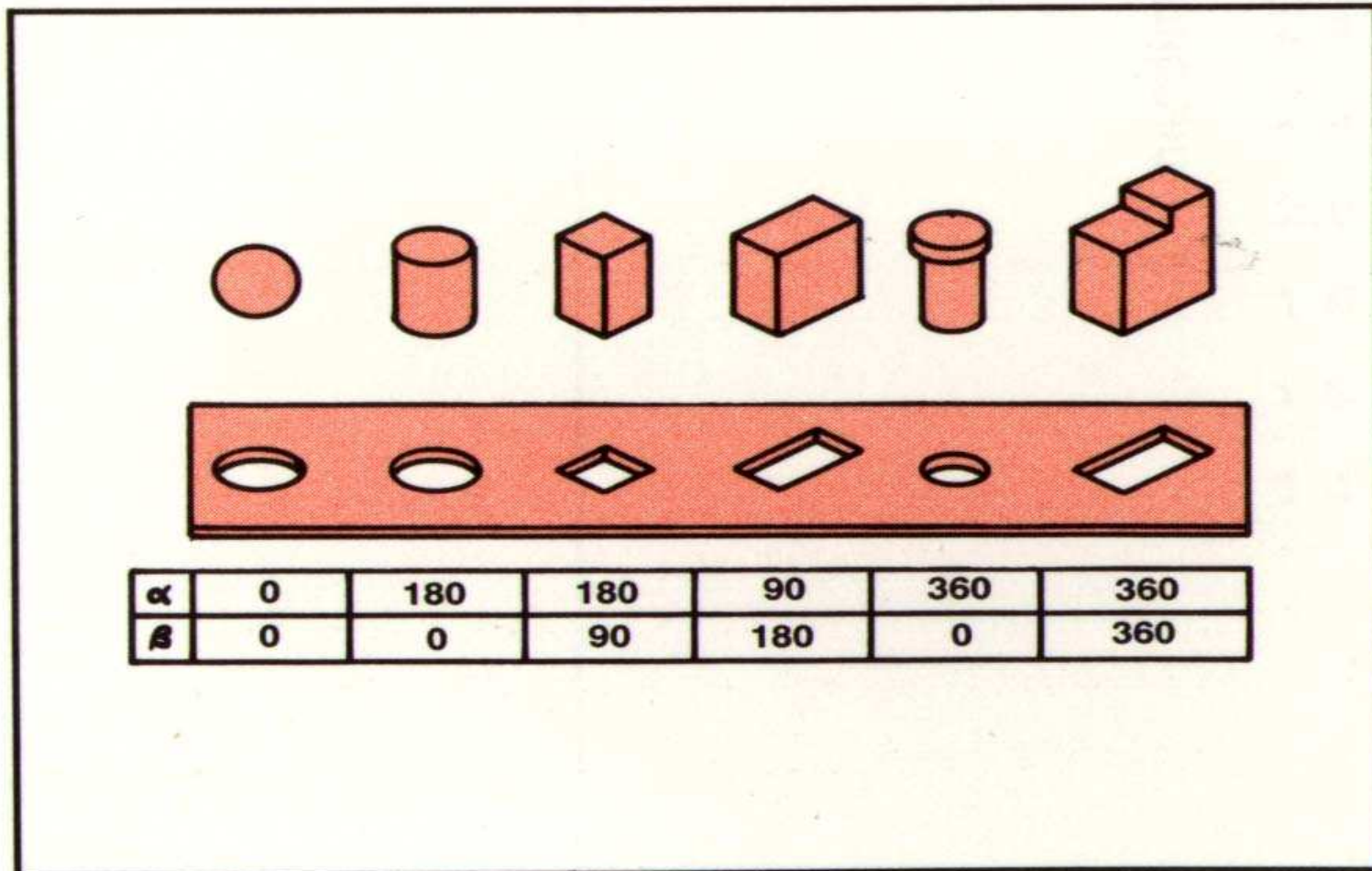




Metodo Boothroyd - Dewhurst:

Stima del tempo di assemblaggio

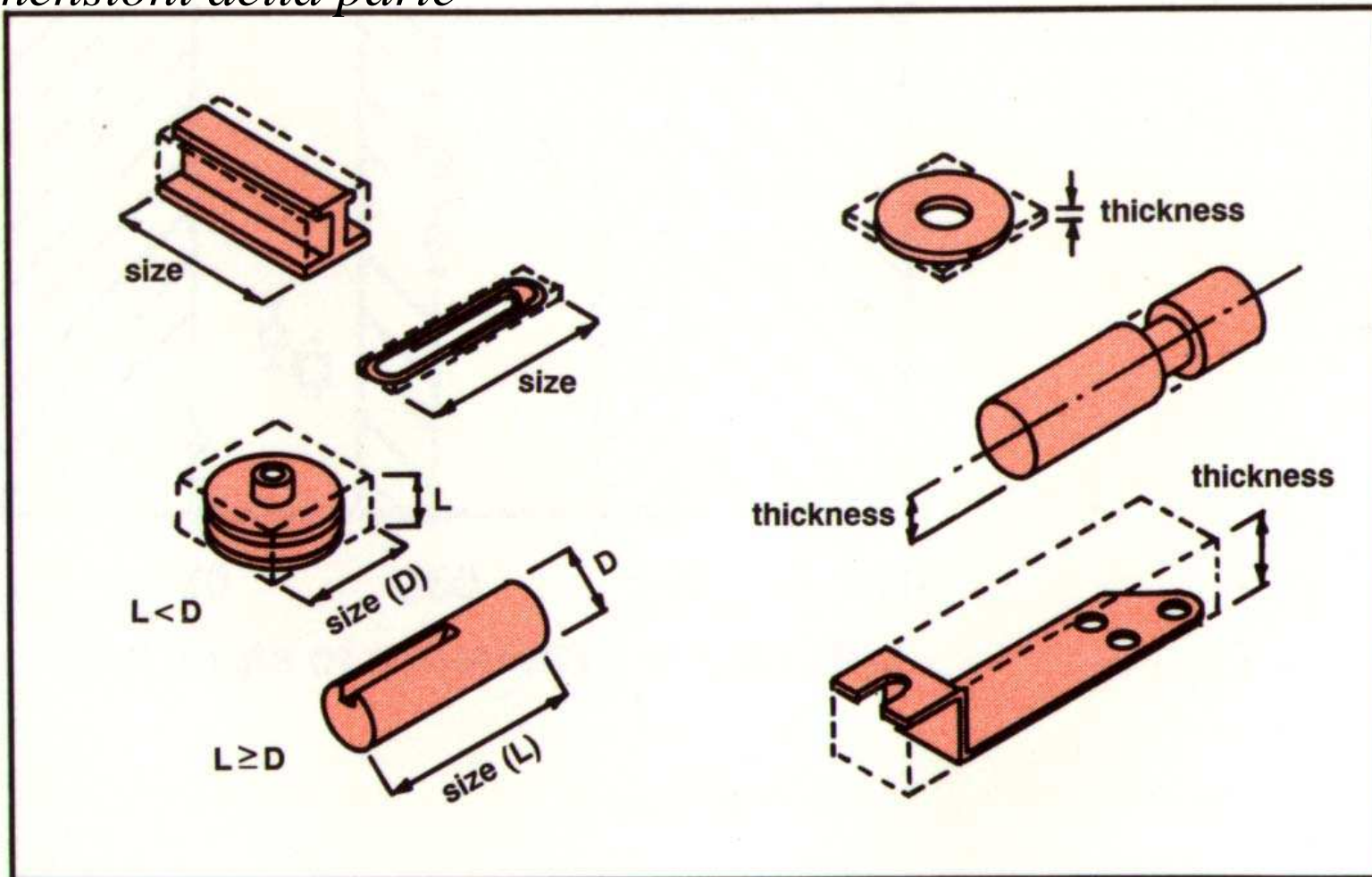
Simmetria complessiva della parte





Stima del tempo di assemblaggio

Dimensioni della parte





Metodo Boothroyd - Dewhurst:

*Stima del tempo di
assemblaggio*

*Sulla base delle
simmetrie e delle
dimensioni si
stabiliscono i tempi
associandoli a dei
codici binari*

MANUAL HANDLING – ESTIMATED TIMES (seconds)

Key: ONE HAND

	parts are easy to grasp and manipulate					parts present handling difficulties (1)					
	thickness > 2 mm		thickness ≤ 2 mm			thickness > 2 mm		thickness ≤ 2 mm			
	size > 15 mm	6 mm ≤ size ≤ 15 mm	size < 6 mm	size > 6 mm	size ≤ 6 mm	size > 15 mm	6 mm ≤ size ≤ 15 mm	size < 6 mm	size > 6 mm	size ≤ 6 mm	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
parts can be grasped and manipulated by one hand without the aid of grasping tools $(\alpha + \beta) < 360^\circ$ $360^\circ \leq (\alpha + \beta) < 540^\circ$ $540^\circ \leq (\alpha + \beta) < 720^\circ$ $(\alpha + \beta) = 720^\circ$	0	1.13	1.43	1.88	1.69	2.18	1.84	2.17	2.65	2.45	2.98
	1	1.5	1.8	2.25	2.06	2.55	2.25	2.57	3.06	3	3.38
	2	1.8	2.1	2.55	2.36	2.85	2.57	2.9	3.38	3.18	3.7
	3	1.95	2.25	2.7	2.51	3	2.73	3.06	3.55	3.34	4

ONE HAND with GRASPING AIDS

	parts need tweezers for grasping and manipulation				parts can be manipulated without optical magnification				parts require optical magnification for manipulation		parts need standard tools other than tweezers	parts need special tools for grasping and manipulation
	parts are easy to grasp and manipulate		parts present handling difficulties (1)		parts are easy to grasp and manipulate		parts present handling difficulties (1)		parts need standard tools other than tweezers	parts need special tools for grasping and manipulation		
	thickness > 0.25 mm	thickness ≤ 0.25 mm	thickness > 0.25 mm	thickness ≤ 0.25 mm	thickness > 0.25 mm	thickness ≤ 0.25 mm	thickness > 0.25 mm	thickness ≤ 0.25 mm				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
parts can be grasped and manipulated by one hand but only with the use of grasping tools $0 \leq \beta \leq 180^\circ$ $\alpha \leq 180^\circ$ $\beta = 360^\circ$ $0 \leq \beta \leq 180^\circ$ $\alpha = 360^\circ$ $\beta = 360^\circ$	4	3.6	6.85	4.35	7.6	5.6	8.35	6.35	8.6	7	7	
	5	4	7.25	4.75	8	6	8.75	6.75	9	8	8	
	6	4.8	8.05	5.55	8.8	6.8	9.55	7.55	9.8	8	9	
	7	5.1	8.35	5.85	9.1	7.1	9.55	7.85	10.1	9	10	

TWO HANDS for MANIPULATION

	parts present no additional handling difficulties					parts present additional handling difficulties (e.g. sticky, delicate, slippery, etc.) (1)					
	$\alpha \leq 180^\circ$		$\alpha = 360^\circ$			$\alpha \leq 180^\circ$		$\alpha = 360^\circ$			
	size > 15 mm	6 mm ≤ size ≤ 15 mm	size < 6 mm	size > 6 mm	size ≤ 6 mm	size > 15 mm	6 mm ≤ size ≤ 15 mm	size < 6 mm	size > 6 mm	size ≤ 6 mm	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
parts severely nest or tangle or are flexible but can be grasped and lifted by one hand (with the use of grasping tools if necessary) (2)	8	4.1	4.5	5.1	5.6	6.75	5	5.25	5.85	6.35	7

TWO HANDS required for LARGE SIZE

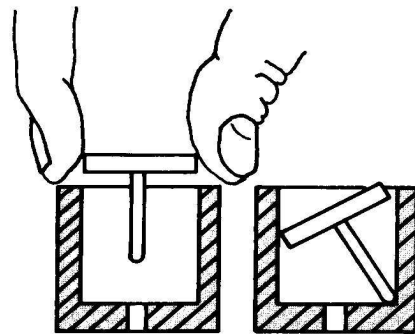
	parts can be handled by one person without mechanical assistance								parts severely nest or tangle or are flexible (2)	parts need special tools for grasping and manipulation								
	parts do not severely nest or tangle and are not flexible				parts are heavy (> 10 lb)													
	part weight < 10 lb		parts are heavy (> 10 lb)		parts are easy to grasp and manipulate		parts present other handling difficulties (1)											
	parts are easy to grasp and manipulate	parts present other handling difficulties (1)	parts are easy to grasp and manipulate	parts present other handling difficulties (1)	parts are easy to grasp and manipulate	parts present other handling difficulties (1)	parts are easy to grasp and manipulate	parts present other handling difficulties (1)										
	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	$\alpha \leq 180^\circ$	$\alpha = 360^\circ$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
two hands required for grasping and transporting parts	9	2	3	2	3	3	4	4	5	7	9							



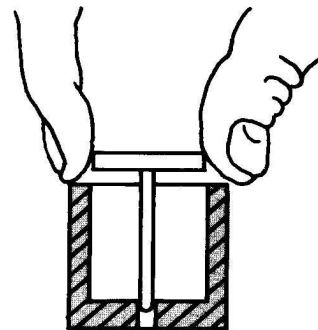
Metodo Boothroyd - Dewhurst:

Stima del tempo di assemblaggio

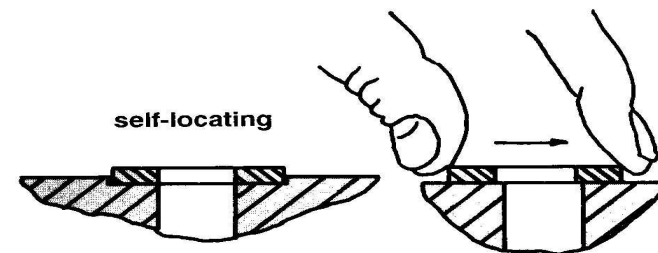
Il **tempo di inserimento della parte** è definito dal tempo necessario per inserire e fissare la parte. Varia da 1.5 a 12 s in funzione della facilità di inserimento ed alloggiamento nonché delle modalità di fissaggio.



part must be released
before it is located



part located before release



self-locating

holding down and alignment re-
quired for subsequent operation



Metodo Boothroyd - Dewhurst:

Stima del tempo di
assemblaggio

*Sulla base delle
modalità di
inserimento
(trattenere per
posizionare, serrare,
...) si definiscono i
tempi associandoli a
dei codici binari*

MANUAL INSERTION – ESTIMATED TIMES (seconds)

Key:
 PART ADDED but NOT SECURED
 PART SECURED IMMEDIATELY
 SEPARATE OPERATION

		after assembly no holding down required to maintain orientation and location (3)				holding down required during subsequent processes to maintain orientation or location (3)					
		easy to align and position during assembly (4)		not easy to align or position during assembly		easy to align and position during assembly (4)		not easy to align or position during assembly			
		no resistance to insertion	resistance to insertion (5)	no resistance to insertion	resistance to insertion (5)	no resistance to insertion	resistance to insertion (5)	no resistance to insertion	resistance to insertion (5)		
		0	1	2	3	6	7	8	9		
addition of any part (1) where neither the part itself nor any other part is finally secured immediately	part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location	0	1.5	2.5	2.5	3.5	5.5	6.5	6.5	7.5	
	part and associated tool (including hands) cannot easily reach the desired location	due to obstructed access or restricted vision (2)	1	4	5	5	6	8	9	9	10
		due to obstructed access and restricted vision (2)	2	5.5	6.5	6.5	7.5	9.5	10.5	10.5	11.5
addition of any part (1) where the part itself and/or other parts are being finally secured immediately	part and associated tool (including hands) can easily reach the desired location and the tool can be operated easily	3	2	5	4	5	6	7	8	9	
	part and associated tool (including hands) cannot easily reach desired location or tool cannot be operated easily	due to obstructed access or restricted vision (2)	4	4.5	7.5	6.5	7.5	8.5	9.5	10.5	11.5
		due to obstructed access and restricted vision (2)	5	6	9	8	9	10	11	12	13
assembly processes where all solid parts are in place	mechanical fastening processes (part(s) already in place but not secured immediately after insertion)	none or localized plastic deformation		rivetting or similar operation		screw tightening immediately after insertion (6)					
	bending or similar processes	rivetting or similar processes	screw tightening (6) or other processes	snap fit, snap clip, press fit, etc.	plastic deformation immediately after insertion		rivetting or similar operation				
					plastic bending or torsion	not easy to align or position during assembly	easy to align and position during assembly (4)	not easy to align or position during assembly			
assembly processes where all solid parts are in place	non-mechanical fastening processes (part(s) already in place but not secured immediately after insertion)	non-fastening processes	no additional material required (e.g. resistance, friction, welding, etc.)	soldering processes	weld/braze processes	chemical processes (e.g. adhesive bonding, etc.)	manipulation of parts or sub-assembly (e.g. orienting, fitting or adjustment of part(s), etc.)	other processes (e.g. liquid insertion, etc.)			
									metallurgical processes		additional material required
9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	4	7	5	3.5	7	8	12	12	9	12	

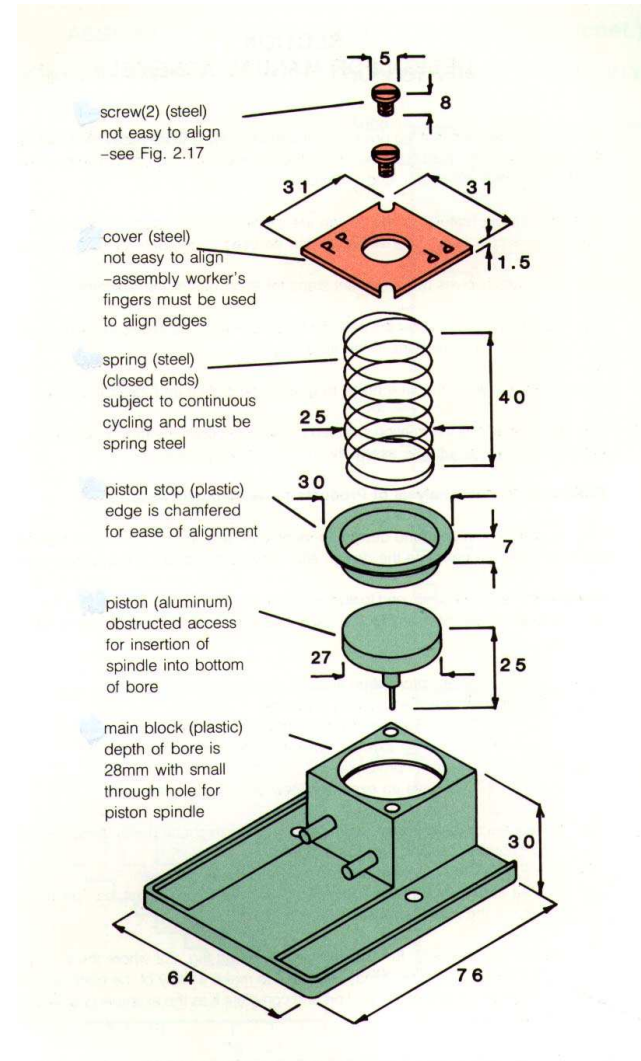


Pneumatic Pump

- Assembly Sequence:

6. Two screws
5. One cover
4. One spring
3. One piston stop
2. One piston
1. One main body

- Tool:
 - A screw driver





Pneumatic Pump

- Assembly Time:

Part #	Part Name	Qty (n)	Handling Code	Handling Time	Insertion Code	Insertion Time	Assembly Time (n Parts)
1	Main Block	1	30	1.95	00	1.50	3.45
2	Piston	1	10	1.50	10	4.00	5.50
3	Piston Stop	1	10	1.50	00	1.50	3.00
4	Spring	1	05	1.84	00	1.50	3.34
5	Cover	1	12	2.36	08	6.50	8.86
6	Screws	2	11	1.80	39	8.00	16.60
						Total Assembly Time	40.75 Seconds



Analisi delle parti riducibili

Il suo scopo è quello di eliminare le parti definite “non critiche” ovvero non strettamente necessarie.

Per individuare queste parti occorre chiedersi:

cosa accadrebbe se una parte fosse guasta o mancante?

Due singole parti sono sostituibili con una sola?.

Le parti critiche secondo B-D sono quelle che:

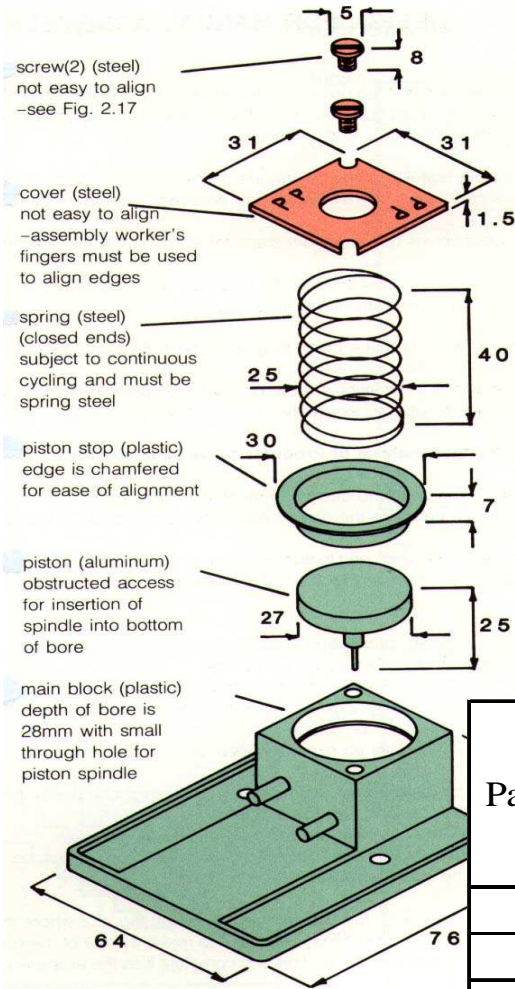
- *hanno un moto relativo*
- sono di materiale diverso rispetto a quello delle altre parti
- devono essere smontabili necessariamente

Pneumatic Pump

Ogni componente si esamina rispetto agli elementi collegati

Basta un sì ad una delle tre domande per escludere l'eliminazione del pezzo.

Lo stopper del pistone non ha moto rispetto alla cover, è fatto dello stesso materiale e non deve essere smontabile per manutenzione!



Part #	Part Name	Qty	With Respect to	Relative Motion	Different Material	Service & Assembly	Candidate for Elimination
1	Main Block	1	--				Yes
2	Piston	1	Main Block	Yes			Yes
3	Piston Stop	1	Main Block	No	No	Yes	Yes
			Piston	Yes			Yes
4	Spring	1	Main Block	Yes			Yes
			Piston	Yes			Yes
			Piston Stop	Yes			Yes
5	Cover	1	Main Block	No	No	Yes	Yes
			Piston	Yes			Yes
			Piston Stop	No	No	No	No
			Spring	Yes			Yes
6	Screws	2	--				No



Studio dell'efficienza di assemblaggio

Se il progetto fosse nelle sue condizioni ottimali si avrebbe un numero di componenti massimo pari a quello dei componenti critici

Ciascuno di essi si assemblerebbe in 3 s

L'efficienza di un assemblato è il rapporto tra il tempo di assemblaggio del sistema ideale e quello effettivo

L'ottimizzazione di un assemblato si realizza ottimizzando l'efficienza ovvero:

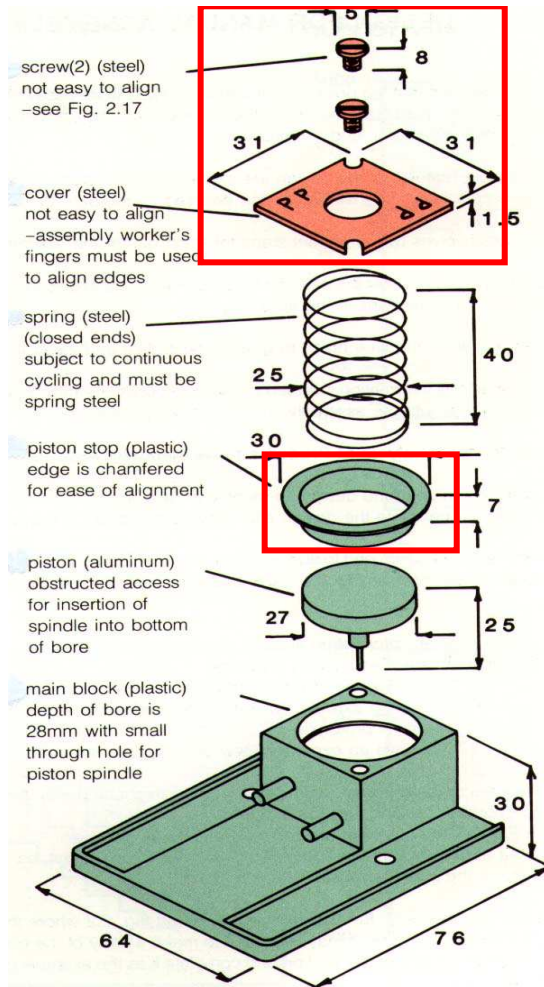
- *riducendo le parti non critiche*
- *riducendo i tempi di manipolazione ed assemblaggio*

Pneumatic Pump

Studio dell'efficienza di assemblaggio

La pompa è composta da 7 elementi 4 sono critici e tre no (viti + piston stop rispetto al coperchio) . Il tempo di assemblaggio è 40.75 s

Se il progetto fosse nelle sue condizioni ottimali si avrebbero solo 4 componenti
Tempo ideale di assemblaggio = 12 s



L'efficienza di progetto è pari a
 $12/40.75 = 0.29$

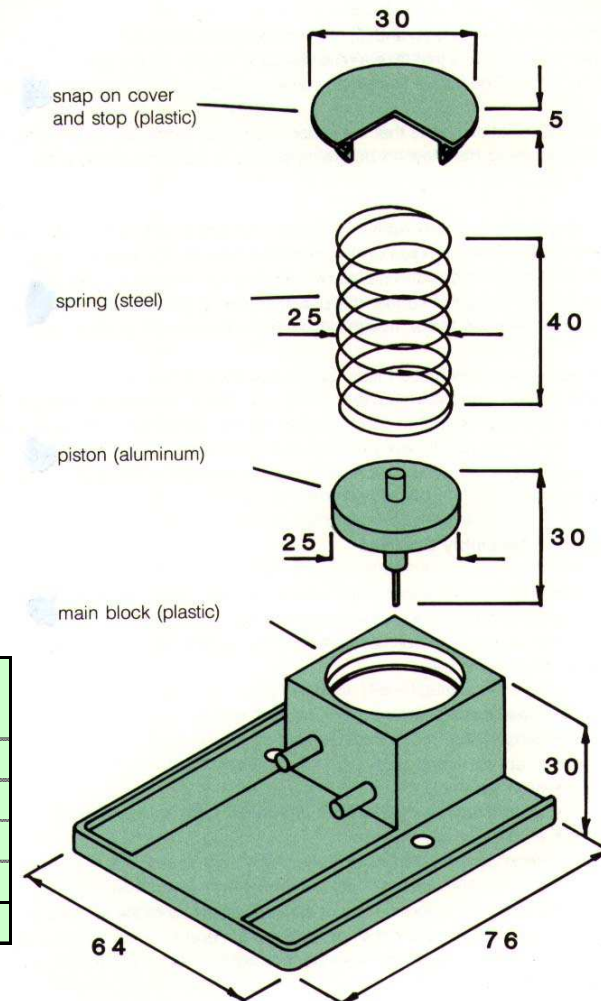


Pneumatic Pump

Ottimizzazione dell'efficienza

- Coperchio e stopper sono integrati
- Il coperchio si monta a pressione

Part #	Part Name	Qty	Handling Code	Handling Time	Insertion Code	Insertion Time	Total Assy Time
1	Main Block	1	30	1.95	00	1.50	3.45
2	Piston	1	10	1.50	00	1.50	3.00
3	Spring	1	05	1.84	00	1.50	3.34
4	Cover	1	10	1.50	30	2.00	3.50
Total Assembly Time							13.29 Seconds



L'efficienza di progetto è pari a
 $12/13.29 = 0.9$



(AEM opp. Hitachi method)

Segue uno schema simile al BD method.

Fasi:

- Stima del tempo di assemblaggio
- Analisi delle parti riducibili
- Studio dell'efficienza

Si ipotizza che le parti siano già pronte per essere inserite.

- *Stima del tempo di assemblaggio*

Ad ognuna parte si associa un punteggio di penalizzazione:

- 100 punti per solo fatto che la parte esiste
- Punteggi aggiuntivi in funzione delle operazioni di montaggio

Successivamente il punteggio si traduce in secondi ...



Stima dei tempi di assemblaggio

Le penalizzazioni aggiuntive sono funzione:

- della direzione del moto di assemblaggio,
- la richiesta di ancoraggio e/o di lavorazioni di formatura,
- il tipo collegamento tra le parti
- il numero di operazioni



Stima dei tempi di assemblaggio

- Penalizzazione della direzione del moto:

<u>Simbolo</u>	<u>Penalty Points</u>	
↓	0	
↑	30	
← →	20	
↗ ↘	30	
⊃ ∩	30	Avvitamento
R	40	Rotazione dell'intero preassemblato



- Bloccaggio e lavorazioni:

<u>Simbolo</u>	<u>Penalty Points</u>	<u>Descrizione</u>
f	20	Afferra per proseguire
F	40	Afferra per più di una operazione
G	40	Deforma una parte flessibile
P	20	Piega o taglia (di fili)



Stima dei tempi di assemblaggio

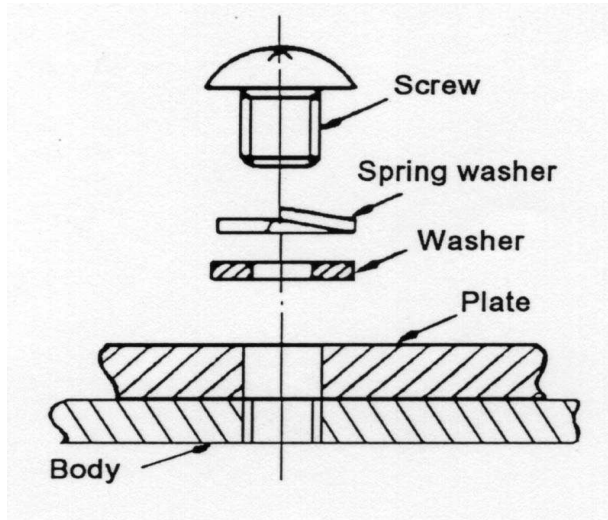
- Collegamento:

<u>Symbol</u>	<u>Penalty Points</u>	<u>Description of Operation</u>
B	20	Collega con adesivo, connessione con lubrificante
W	20:30	Saldatura
M	60	Lavorare a macchina

A tutto questo si aggiunge una penalizzazione del 15% per assemblaggi di parti che richiedono più di una operazione



Stima dei tempi di assemblaggio



Part			Number of Operations	Summation Method			
Name	Count (n)	Operation Symbols		Total Penalty (Σ Penalty)	M = 100 + Σ Penalty	T = M * α (+15% add op)	T * n
Body	1	base	1	0	100	100	100
Plate	1	down	1	0	100	100	100
Washer	1	down, f	2	20	120	138	138
Spring Washer	1	down, f	2	20	120	138	138
Screw	1	down, turn	2	30	130	150	150
						$\Sigma T*n =$	626



Stima dei tempi di assemblaggio

- Un componente ideale richiede 100 punti (indichiamolo con $T\downarrow$)
- Il tempo di assemblaggio è proporzionale a $T\downarrow$
 - Valutando $T\downarrow$ per un prodotto simile è possibile convertire il tempo finale di assemblaggio di un prodotto

L'esempio precedente richiede $6.26 T\downarrow$, se un prodotto simile richiedesse 30 s pari a $4 T\downarrow$ allora $T\downarrow = 7.5$ ovvero il nostro prodotto richiederebbe 46.95 s

N.B. $T\downarrow$ è funzione dello stato dell'arte del sistema in esame



Assemblability Evaluation Method

Stima dei tempi di assemblaggio

Pneumatic pump

Part			Number of Operations (m)	Summation Method			
Name	Count (n)	Operation Symbols		Total Penalty (Σ Penalty)	M = 100 + Σ Penalty	T = M * a (+15% add op)	T * n
Main Block	1	base	1	0	100	100	100
Piston	1	down	1	0	100	100	100
Piston Stop	1	down	1	0	100	100	100
Spring	1	down	1	0	100	100	100
Cover	1	down, F	2	40	140	161	161
Screws	2	down, turn	2	30	130	150	300
Assy Effy =	81%		Assy Time =	8.6 Tdown		$\Sigma T*n =$	861



Stima dell'efficienza

L'assemblato ideale è quello ottenuto in base alle sole parti critiche come per il B-D method. Il tempo ideale di assemblaggio è pari al numero delle parti critiche per $T \downarrow$

Nel caso della pompa in condizioni ideali il prodotto avrebbe un tempo di assemblaggio pari a $4 T \downarrow$ in realtà vale $8.61 T \downarrow$, quindi la sua efficienza è 0.46